

日本国特許庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

McDermott, Will & Emery

48864-037  
MAR 26, 2001  
TOYAMA et al.

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

2000年 6月30日

願番号  
Application Number:

特願2000-197778

願人  
Applicant(s):

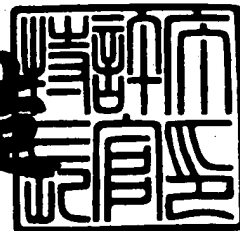
ミノルタ株式会社

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2000年12月15日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



【書類名】 特許願

【整理番号】 TL03593

【提出日】 平成12年 6月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 15/60

【発明の名称】 形状モデルの生成方法および装置

【請求項の数】 5

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

    【氏名】 遠山 修

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

    【氏名】 藤井 英郎

【特許出願人】

    【識別番号】 000006079

    【氏名又は名称】 ミノルタ株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100086933

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 久保 幸雄

    【電話番号】 06-6304-1590

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 010995

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9716123

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 形状モデルの生成方法および装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の標準モデルおよび第 2 の標準モデルを計測データに基づいて変形させることにより、2 つの標準モデルからなる形状モデルを生成する方法であって、

第 1 の標準モデルを計測データに基づいて変形させる第 1 のステップと、

第 1 のステップで得られた変形情報を適用して第 2 の標準モデルを変形させる第 2 のステップと、

を有してなることを特徴とする形状モデルの生成方法。

【請求項 2】

第 1 の標準モデルは皮膚モデルであり、第 2 の標準モデルは骨格モデルまたは筋肉モデルであり、計測データは人間の頭部表面を対象としたデータである、

請求項 1 記載の形状モデルの生成方法。

【請求項 3】

第 1 の標準モデルには標準モデルを変形させるための制御点が定義されており、

第 1 のステップでは制御点を移動させることによって第 1 の標準モデルを変形させ、

第 2 のステップでは第 1 のステップで移動させられた制御点を用いて第 2 の標準モデルを変形させる、

請求項 1 記載の形状モデルの生成方法。

【請求項 4】

前記変形情報の適用に際して、第 2 の標準モデルの変形対象毎に、当該変形対象を変形させる制御点を補正して求める、

請求項 2 記載の形状モデルの生成方法。

【請求項 5】

第 1 の標準モデルおよび第 2 の標準モデルを計測データに基づいて変形させることにより、2 つの標準モデルからなる形状モデルを生成する装置であって、

第 1 の標準モデルを計測データに基づいて変形させる第 1 の手段と、  
第 1 のステップで得られた変形情報を適用して第 2 の標準モデルを変形させる  
第 2 の手段と、  
を有してなることを特徴とする形状モデルの生成装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、形状モデルの生成方法および装置に関し、例えばコンピュータグラフィックスの分野における 3 次元モデルの生成に利用される。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

近年において、映画やゲームなどに 3 次元 C G（3 次元コンピュータグラフィックス）の技術がしばしば用いられている。3 次元 C G では、仮想的な 3 次元空間内に 3 次元モデルやライトを配置して動かすので、表現の自由度が高い。

【0 0 0 3】

従来より、光切断法などによる非接触型の 3 次元計測装置が実用化されており、これを用いて計測を行うことにより、対象物の 3 次元データを比較的容易に作成することができる。しかし、計測によって得られた 3 次元データをそのまま 3 次元 C G に用いるには、得られたデータの間引きなどを行ってデータ量を減らすための処理が複雑であるなど、種々の問題がある。

【0 0 0 4】

この問題に対処するため、対象物の標準モデルを準備しておき、計測された 3 次元データに合わせて標準モデルを変形する方法が提案されている（特開平 5 - 8 1 3 7 7 号）。

【0 0 0 5】

この従来の方法では、計測によって得られた 3 次元データの 3 次元形状情報、つまり 3 次元に存在する点群をフィッティング対象として用い、それら 3 次元の点群に標準モデルの表面をフィッティングさせる。

【0 0 0 6】

【発明が解決しようとする課題】

上に述べた方法を用いると、3次元データに欠損がある場合であっても欠損のない3次元モデルを得ることができる。

【0007】

ところで、そのように生成された3次元モデルはしばしばアニメーションに利用される。アニメーションにおいて、顔の表情の複雑な動きを表現するために、外部から見える部分である皮膚モデルのみでなく、皮膚モデルをその内部から動かすための骨格モデルまたは筋肉モデル（筋肉情報）が用いられる。

【0008】

しかし、対象物の計測によって得られる3次元データは、皮膚モデルに対応するものであるため、そのままでは3次元データから骨格モデルなどを生成することはできない。

【0009】

また、3次元データに基づいて骨格モデルを生成する際に、皮膚モデルの変形情報をそのまま適用した場合には、皮膚モデルと骨格モデルとの相違から骨格モデルが異常変形を引き起こすことが考えられる。

【0010】

本発明は、上述の問題に鑑みてなされたもので、対象物を計測して得られた計測データを用いてフィッティングを行うことにより、皮膚用モデルおよび骨格用モデルなどを変形して皮膚モデルおよび骨格モデルなどの形状モデルを生成することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る方法では、第1の標準モデルおよび第2の標準モデルを計測データに基づいて変形させることにより、2つの標準モデルからなる形状モデルを生成する方法であって、第1の標準モデルを計測データに基づいて変形させる第1のステップと、第1のステップで得られた変形情報を適用して第2の標準モデルを変形させる第2のステップと、を有してなる。

【0012】

第 1 の標準モデルは、例えば皮膚モデルが用いられ、第 2 の標準モデルとして、例えば骨格モデルまたは筋肉モデルが用いられる。計測データは、例えば人間の頭部表面を対象としたデータである。

【0013】

好ましくは、第 1 の標準モデルには標準モデルを変形させるための制御点が定義されており、第 1 のステップでは制御点を移動させることによって第 1 の標準モデルを変形させ、第 2 のステップでは第 1 のステップで移動させられた制御点を用いて第 2 の標準モデルを変形させる。

【0014】

また、前記変形情報の適用に際して、第 2 の標準モデルの変形対象毎に、当該変形対象を変形させる制御点を補正して求める。

本発明において、フィッティングとは、標準モデルの変形処理、またはそれを含む一連の処理をいう。

【0015】

【発明の実施の形態】

図 1 は本発明に係るモデリング装置 1 を示すブロック図である。

本実施形態においては、予め作成した標準モデルを人の頭部についての計測データ（3 次元データまたは 2 次元画像）に基づいて変形する（フィッティングすることにより、人の頭部の 3 次元モデルを生成する例を説明する。

【0016】

なお、本実施形態のモデリング装置 1 では、標準モデルとして皮膚用モデルおよび骨格用モデルなどを用い、これらを変形して皮膚モデルおよび骨格モデルなどの 3 次元モデルを生成するのであるが、以下において、先ず、皮膚モデルの生成について説明し、その後で骨格モデルの生成について説明する。

皮膚モデル M L A の生成

図 1 に示すように、モデリング装置 1 は、処理装置 10、磁気ディスク装置 11、媒体ドライブ装置 12、ディスプレイ装置 13、キーボード 14、マウス 15、および 3 次元計測装置 16 などからなる。

【0017】

処理装置 1 0 は、CPU、RAM、ROM、ビデオ RAM、入出力ポート、および各種コントローラなどからなる。RAM および ROM などに記憶されたプログラムを CPU が実行することにより、処理装置 1 0 上に種々の機能が実現される。

#### 【0018】

磁気ディスク装置 1 1 には、OS (Operating System)、3 次元モデル ML を生成するためのモデリングプログラム PR、その他のプログラム、標準モデル (標準モデルデータ) DS、3 次元データ (3 次元計測データ) DT、3 次元データ DT の信頼性を示す信頼性データ DR、2 次元画像 (2 次元計測データ) FT、生成された 3 次元モデル ML、その他のデータなどが格納されている。

#### 【0019】

標準モデル DS には、皮膚用モデル DSA、骨格用モデル DSB、および筋肉用モデル (筋肉情報) DSC がある (図 1 2 参照)。これら、同じ 1 つの標準モデル DS についての皮膚用モデル DSA、骨格用モデル DSB、および筋肉用モデル DSC には、共通の制御点が設定されている。したがって、計測データに基づいて皮膚用モデル DSA を変形させるために制御点が移動すると、この制御点の移動にともなって骨格用モデル DSB および筋肉用モデル DSC のいずれもが変形される。

#### 【0020】

これらのプログラムおよびデータは、適時、処理装置 1 0 の RAM にローディングされる。

なお、モデリングプログラム PR には、計測処理、概略位置合わせ、データ削減処理、変形処理、部分領域選択処理、およびその他の処理のためのプログラムが含まれる。

#### 【0021】

媒体ドライブ装置 1 2 は、CD-ROM (CD)、フロッピーディスク FD、または光磁気ディスクなどの記録媒体にアクセスし、データまたはプログラムの読み書きなどを行うものである。記録媒体の種類に応じて適切なドライブ装置が用いられる。上に述べたモデリングプログラム PR は、これら記録媒体からイン



ストールすることが可能である。標準モデル D S、3 次元データ D T、信頼性データ D R、および 2 次元画像 F T など、記録媒体を介して入力することが可能である。

【 0 0 2 2 】

ディスプレイ装置 1 3 の表示面 H G には、上に述べた種々のデータ、およびモデリングプログラム P R により生成された 3 次元モデル M L、その他のデータ（画像）が表示される。

【 0 0 2 3 】

キーボード 1 4 およびマウス 1 5 は、処理装置 1 0 にデータを入力しまたは指令を与えるために用いられる。

3 次元計測装置 1 6 は、例えば光切断法によって対象物の 3 次元データ D T を得るためのものである。3 次元計測装置 1 6 によって直接的に 3 次元データ D T を得ることも可能であり、また、3 次元計測装置 1 6 から出力されるデータに基づいて処理装置 1 0 など演算を行い、間接的に 3 次元データ D T を得ることも可能である。

【 0 0 2 4 】

3 次元データ D T と同時に、必要に応じて同じ対象物について同じ視線上の 2 次元画像 F T を取得することも可能である。そのような 3 次元計測装置 1 6 として、例えば特開平 1 0 - 2 0 6 1 3 2 号に示される公知の装置を用いることが可能である。

【 0 0 2 5 】

また、対象物の 3 次元データ D T を取得する公知の他の方法として、対象物に対して視差を有して配置された複数のカメラを用いる方法などがある。それらのカメラから得られた視差を有する複数の画像から、立体写真法を用いて 3 次元データ D T を演算により求めることができる。

【 0 0 2 6 】

この方法では、例えば 3 台のカメラを用いることにより、3 次元データ D T の各点の信頼性を判定するためのデータをも同時に取得することができる。

すなわち、3 台のカメラによる多眼視によって対象物を撮影し、3 枚の画像を

得る。これら3枚の画像について、互いの対応点を探索する。2枚の画像についての対応点に基づいて、3次元データDTが公知の計算により求められる。他の1枚の画像は、信頼性データDRを得るのに利用される。

#### 【0027】

例えば、図10に示すように、3台のカメラA、B、Cを用い、対象物Qを撮影して3枚の画像FA、FB、FCを取得する。各画像FA、FB、FCについて、それぞれの画像面 $(u_n, v_n)$ が示されている $(n=1, 2, 3)$ 。3次元空間Mにある対象物Q上の点QPが、各画像面上の点PA、PB、PCに投影されている。

#### 【0028】

ここで、点PA、PB、PCの対応が求まるとすると、それらの対応から、3次元空間M'を再構成することができる。3次元空間M'において、点PA、PBに対応する点QP'が求まる。理想的には、この再構成された3次元空間M'上の点QP'を画像面 $(u_3, v_3)$ に逆投影した点PC'と、元の3次元空間M上の点QPを画像面 $(u_3, v_3)$ 上に投影した点PCとは、一致するはずである。

#### 【0029】

しかし、投影変換を正確に求めることは難しく、また対応を正確に求めることも難しいため、通常、これらは一致しない。そこで、これら点PC'と点PCとのずれを誤差とし、信頼性の指標として用いる。

#### 【0030】

例えば、点PC'と点PCとの誤差を、ずれた画素の数で示す。点PC'と点PCとが同じ画素上にあれば、誤差は「0」である。1画素ずれていれば、誤差は「1」である。2画素ずれていれば、誤差は「2」である。このずれた画素数を信頼性データDRとして用いることができる。

#### 【0031】

信頼性データDRを判断する他の方法として、例えば特開昭61-125686号に示される方法、その他の公知の方法を用いることも可能である。

モデリング装置1は、パーソナルコンピュータまたはワークステーションなど

を用いて構成することが可能である。上に述べたプログラムおよびデータは、ネットワークNWを介して受信することにより取得することも可能である。

【0032】

次に、モデリング装置1の全体の処理の流れについて、フローチャートを参照しながら説明する。

図2はモデリング装置1の全体の処理の流れを示すフローチャート、図3は変形処理を示すフローチャート、図4は標準モデルDS1の例を示す図、図5は対象物から3次元データDTを取得する様子を示す図、図6(A)(B)は概略の位置合わせの様子を示す図、図7は輪郭および特徴点の抽出処理の様子を示す図、図8は標準モデルDSの面Sと3次元データDTの点Pとを模式的に示す図、図9は標準モデルDSの異常変形を防ぐための仮想バネを説明するための図、図10は対象物の3次元データDTおよび信頼性データDRを取得する方法の例を説明する図である。

〔標準モデルの準備〕

図2において、まず、対象物についての標準モデルDSを準備する(#11)。本実施形態では対象物が人の頭部であるので、種々のサイズおよび形状を有した、頭部の全周についての複数の標準モデル群の中から、対象物の頭部に最もよく似た標準モデルDS1を準備する。

【0033】

標準モデルDSは、ポリゴンで定義された3次元形状モデル、または自由曲面で定義された3次元形状モデルのいずれでもよい。ポリゴンで定義された3次元形状モデルである場合は、各ポリゴンの頂点の3次元座標によって表面の形状が決まる。自由曲面で定義された3次元形状モデルである場合は、曲面を定義する関数、および各制御点の座標によって表面の形状が決まる。

【0034】

なお、ポリゴンで定義された3次元形状モデルである場合に、各ポリゴンの頂点を「構成点」と記載する。

また、標準モデルDSのフィッティングに際して、制御のために用いられる点を「制御点」と呼称する。制御点とポリゴンの構成点との位置関係は任意であり

、制御点はポリゴンの面上に設定されていてもよく、ポリゴンの面から離れて設定されていてもよい。1つの制御点は複数の構成点（3～100程度）と関連付けられており、制御点の動きに合わせて関連付けられた構成点が移動する。標準モデルDSのフィッティングに際しては、これら複数の制御点を移動させることによって標準モデルDS全体を変形する。3次元形状モデルが自由曲面で定義されている場合も、フィッティングに使用する制御点の配置は任意である。

#### 【0035】

制御点は、目尻、唇端などのように細かな形状を持つ部分、および、鼻、唇などのように急激な形状の変化を持つ部分には、高い密度で配置される。それ以外の部分には一様に配置される。

#### 【0036】

標準モデルDSには、ある方向から見た特徴的な輪郭RKおよび特徴点TTが設定される。輪郭RKとして、例えば、目、鼻、口、または顎などに、瞼のライン、鼻のライン、唇のライン、または顎のラインなどが設定される。特徴点TTとして、例えば、目や口の端部、鼻の頂部、顎の下端部のように、実際に特徴のある部分、または、それらの中間のようなそれ自体では特徴はないが位置的に特定し易い部分などが選ばれる。

#### 【0037】

図4に示す標準モデルDS1では、顎のライン、唇のライン、および瞼のラインが輪郭RK1～3として設定されている。図4で分かるように、輪郭RK1は、標準モデルDS1をある方向から見たときに、その縁線となる部分である。また、図4に示す標準モデルDS1では、設定された特徴点TTの一部のみが実際に図に表されている。

#### 〔3次元データの取得〕

次に、対象物の3次元計測を行い、3次元データDTを取得する（#12）。その際に、対象物の2次元画像FTをも同時に取得しておく。また、上に述べたように、3次元データDTの各点についての信頼性を示す信頼性データDR、または信頼性データDRを得るための情報を必要に応じて取得しておく。

#### 【0038】

例えば、図5に示すように、3次元計測装置16を用いて、対象物である人の頭部を計測（撮影）する。これによって、3次元データDTおよび2次元画像FTが取得される。

#### 【0039】

なお、対象物を計測して得た3次元データDTおよび／または2次元画像FTを、「計測データ」と記載することがある。標準モデルDSの準備と3次元データDTの取得とはいずれが先でもよく、並行して進めてもよい。

#### 〔概略の位置合わせ〕

標準モデルDSと3次元データDTとの概略の位置合わせを行う（＃13）。この処理では、標準モデルDSと3次元データDTとが概略一致するように、標準モデルDSの向き、サイズ、および位置を変更する。このとき、標準モデルDSを、X、Y、Zのそれぞれの方向に個別に任意の倍率に偏倍することにより、それぞれの方向のサイズを3次元データDTによく合わせることができる。

#### 【0040】

例えば、図6（A）に示すように、3次元データDTに対して、標準モデルDSを回転させ且つ各方向に偏倍することにより、図6（B）に示すように、3次元データDTとほぼ同じサイズの標準モデルDSaを得ることができる。なお、わかりやすくするために、図面上では位置を合わせていないものを示す。

#### 【0041】

概略の位置合わせの手法として、次に説明するように、（1）全体的概略位置合わせ、（2）局所的概略位置合わせ、の2つの手法がある。

これらの手法のうち、（1）の手法は自動で行うことができる。（2）の手法は、その中の特徴点抽出を自動で行うことが困難であるので、一部手動で行う必要がある。概略位置合わせ後のフィッティングでは基本的に標準モデルDSの局所的な変形が行われることになるため、形状が合うことを重視する場合には（1）の手法が好適であり、アニメーションのように形状よりも位置が合っ欲しいという場合には（2）の手法が好適である。また、特徴点抽出を行うことに慣れたユーザであれば、処理時間を短縮するために（2）の手法を用いることは効果的である。

〔全体的概略位置合わせ〕

全体的概略位置合わせでは、3次元データDTと標準モデルDSとの距離を最小とするように、標準モデルDSの位置、方向、およびサイズを変更する。

【0042】

すなわち、次の(1)式に示すエネルギー関数 $e(s_i, \alpha_i, t_i)$ が最小となる $s_i, \alpha_i, t_i$ を導く。

なお、 $f(s_i, \alpha_i, t_i)$ は、3次元データDTと標準モデルDSとの距離に関連して定義されるエネルギー関数である。 $g(s_i)$ は、過剰な変形を避けるための安定化エネルギー関数である。

【0043】

また、3次元計測装置16によって3次元データDTを取得する際に同時に取得した2次元画像FTを用い、2次元画像FT上でのパターンマッチングを用いて、位置、方向、およびサイズの初期値を与えてもよい。

【0044】

〔数1〕

$$\begin{aligned} e(s_i, \alpha_i, t_i) &= f(s_i, \alpha_i, t_i) + g(s_i) & \dots (1) \\ f(s_i, \alpha_i, t_i) &= \sum_K d_K(s_i, \alpha_i, t_i)^2 \\ g(s_i) &= \frac{w_{sc}}{s_0} \{ (s_1 - s_0)^2 + (s_2 - s_0)^2 + (s_3 - s_0)^2 \} \end{aligned}$$

【0045】

但し、

K : 3次元データの構成点の個数

$d_K$  : 3次元データの構成点と標準モデルの表面との距離

$W_{sc}$  : 偏倍安定化のウェイトパラメータ

$S_0$  : 初期スケール

$S_i$  : 各方向の偏倍量 (但し、 $S_3$  は奥行き方向である)

$\alpha_i$  : 標準モデルの各方向の回転

$t_i$  : 標準モデルの各方向への移動量

ここで、標準モデルDS上の構成点は次の(2)式にしたがって移動し、それ  
にともなって、3次元データDTの構成点と標準モデルDSの表面との間の距離  
dk が変化する。

【0046】

【数2】

$$M_k(s_i, \alpha_i, t_i, x) = Q_{r3} Q_{r2} Q_{r1} Q_s x + t \quad \dots (2)$$

x: 変形対象点座標

t: 移動ベクトル,  $t = [t_1, t_2, t_3]$

$$Q_{r1}: x_1 \text{ 軸まわりの回転行列, } Q_{r1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_1 & \sin \alpha_1 \\ 0 & -\sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 \end{bmatrix} \text{ など}$$

$$Q_s: \text{偏倍行列, } Q_s = D \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 \\ 0 & 0 & s_3 \end{bmatrix} D^T$$

D: グローバル座標からの変換行列

【0047】

また、3次元計測装置16による計測(撮影)が一方向からに限られる場合に  
、奥行き方向(Z方向)の偏倍量が正確に得られない場合がある。その場合には  
、3次元データDTの形状と標準モデルDSの形状に大きな違いはないとみなし  
、次の(3)式に示すように、X、Y方向の偏倍量(S1, S2)によってZ方向  
の偏倍量(S3)を補正する方法も考えられる。

【0048】

【数3】

$$e(s_i, \alpha_i, t_i) = f(s_i, \alpha_i, t_i) + g(s_i) \quad \dots (3)$$

$$f(s_i, \alpha_i, t_i) = \sum_k d_k^2$$

$$g(s_i) = \frac{w_{sc}}{s_0} \left\{ (s_1 - s_0)^2 + (s_2 - s_0)^2 + \gamma \left[ s_3 - \frac{1}{2}(s_1 + s_2) \right]^2 \right\}$$

【0049】

但し、

$\gamma$  : 視線方向×3 変形分へのウェイトパラメータ

〔局所的概略位置合わせ〕

上に述べた全体的概略位置合わせを自動で行った場合に、それがうまく合わなかったときに、手動で合わせる事となるが、ここに述べる局所的概略位置合わせは、手動での位置合わせの際にできるだけ簡単に行うための手法である。なお、自動でうまくいかなかった分は一旦リセットし、初めから手動でやり直す。

【 0 0 5 0 】

局所的概略位置合わせでは、3次元データDT上の特徴的な線または点と、標準モデルDS上の特徴的な線または点とを対応づけ、それらの距離を最小にするように標準モデルDSの位置、方向、およびサイズを変更する。なお、線と線とを対応付けた場合は、一方の線上の点とその点から他方の線上へ降ろした垂線のうち最短となる点とを特徴点とし、線上でこれらの点を複数点取得するものとする。

【 0 0 5 1 】

すなわち、3次元データDT上の特徴点とそれに対応する標準モデルDS上の特徴点との距離に対して、次の(4)式に示すエネルギー関数 $E(s_i, \alpha_i, t_i)$ が最小となるように、標準モデルDSの $t_i, \alpha_i, s_i$ を導く。

【 0 0 5 2 】

【数4】

$$E(s_i, \alpha_i, t_i) = \sum_k |M_k(s_i, \alpha_i, t_i, x) - C_k|^2 \quad \dots (4)$$

【 0 0 5 3 】

但し、

$k$  : 対応する特徴点の個数

$M_k$  : 位置合わせ後の標準モデル上の特徴点

$x$  : 位置合わせ前の標準モデル上の特徴点

$C_k$  : 3次元データ上の特徴点



$S_i$  : 標準モデルの各方向の偏倍量

$\alpha_i$  : 標準モデルの各方向の回転

$t_i$  : 標準モデルの各方向への移動量

また、3次元計測装置16による計測（撮影）が一方向からに限られる場合に、奥行き方向（Z方向）のスケールが正確に得られない場合がある。その場合には、上に述べた全体的概略位置合わせの場合と同様に、次の（5）式を用いてZ方向のスケールを補正する方法が考えられる。

【0054】

【数5】

$$E(s_i, \alpha_i, t_i) = \sum_k |M_k(s_i, \alpha_i, t_i, x) C_k|^2 + \gamma \left[ s_3 - \frac{1}{2}(s_1 + s_2) \right]^2 \cdots (5)$$

【0055】

〔輪郭・特徴点の抽出〕

3次元データDTまたは2次元画像FT上に、輪郭および特徴点を抽出する（#14）。標準モデルDSについての輪郭RKおよび特徴点TTを予め抽出しておいた場合には、それらと同じ位置に配置されるべき輪郭および特徴点を、3次元データDT上に、またはそれに対応する2次元画像上に配置する（図7参照）。

【0056】

標準モデルDSについての輪郭RKおよび特徴点TTが予め抽出されていない場合には、3次元データDT上または2次元画像上への配置と合わせて標準モデルDS上でも指定する。

〔データ削減〕

次に、計算量および誤差を削減するために、3次元データDTについてデータの削減を行い、必要且つ信頼性の高いデータのみを取り出す（#15）。データの削減を行うことによって、元の3次元データDTの形状を崩すことなく、計算量を減らすことができる。

【0057】

データの削減に当たって、例えば、対象物の領域外のデータを除外し、不要なデータを除く。例えば、2次元画像F Tから顔の領域を判別し、その領域に対応した3次元データD Tのみを残す。あるいは、対象物と背景との間の距離の相違を用いて領域を判別する。また、概略位置合わせの情報を用いて、顔の領域を抽出するなどの各種の方法がある。また、3次元データD Tに信頼性データD Rがある場合には、信頼性の高いもののみを残す。近隣にデータが多い場合はそのデータを間引き、密度を平均化する。

【0058】

データを間引いて密度を平均化する場合は、次の(6)式で示される条件を満たす3次元データD Tのみを採用する。

【0059】

【数6】

$$|P^k - \tilde{P}^r| > \frac{r_{\text{det}}(P^k) + r_{\text{det}}(\tilde{P}^r)}{2} \quad \dots (6)$$

【0060】

但し、

$P^k$  : 構成点

$P \sim r$  : 既に採用された構成点

$R_{\text{det}}(x)$  : 構成点  $x$  の周囲の密度を表す関数

上の(6)式によると、注目されているデータ  $P^k$  について、それまでに採用されて残っているデータ  $P^r$  との間の距離が一定以上であれば、そのデータ  $P^k$  を採用する。

〔変形〕

標準モデルD Sの変形が行われる(#16)。ここでは、3次元データD Tの各構成点と標準モデルD Sの面との間の距離に関連して定義されたエネルギー関数  $e_1$  を用いるとともに、それに加えて、標準モデルD Sの特徴点と3次元デー

タDTに対して指定された特徴点との間の距離に関連して定義されるエネルギー関数 $e_3$ 、標準モデルDSの輪郭と3次元データDTに対して指定された輪郭との間の距離に関連して定義されるエネルギー関数 $e_2$ 、および、過剰な変形を回避するために定義されたエネルギー関数 $e_s$ を用い、それらを総合したエネルギー関数 $e$ を評価し、総合のエネルギー関数 $e$ が最小となるように標準モデルDSの面を変形させる。

## 【0061】

なお、総合のエネルギー関数 $e$ として、 $e_1$ 、 $e_2$ 、 $e_3$ 、 $e_s$ の4つの関数を用いるのが一番望ましいが、 $e_1 \sim e_3$ のうち任意の2つだけを用いることも可能である。

## 【0062】

次に、各エネルギー関数について順次説明する。

## 〔標準モデルと3次元データとの距離〕

図8において、3次元データDTを構成する点群の1つが点 $P_k$ で示されている。標準モデルDSの面Sにおいて、点 $P_k$ に最も近い点が $Q_k$ で示されている。点 $Q_k$ は、点 $P_k$ から面Sに垂線を下ろしたときの交点である。ここでは、点 $P_k$ と点 $Q_k$ との距離が評価される。

## 【0063】

すなわち、3次元データDTの各点と標準モデルDSの面との差分エネルギー $e_1$ は、データ削減後の3次元データDT上の点 $P_k$ と、それを標準モデルDSの面S上に投影した点 $Q_k$ との二乗距離を用いて、次の(7)式によって算出される。

## 【0064】

## 【数7】

$$e_1(r_1^k) = \frac{1}{WL^2} \sum_k w(p^k) [d^{kr} (Q^k - P^k)]^2 \quad \dots (7)$$

## 【0065】

但し、

T1A : 制御点群

P<sub>k</sub> : 削減後の 3 次元データの構成点

Q<sub>k</sub> : 構成点からモデル表面への投影点

K : 削減後の構成点の個数

d<sup>k</sup> : 構成点からモデル表面への投影方向,

$$d^k = (Q_k - P_k) / |Q_k - P_k|$$

ρ<sub>k</sub> : 構成点 P<sub>k</sub> の信頼性

w(ρ<sub>k</sub>) : 信頼性関数,  $w(\rho_k) = 1 / (\alpha + \rho_k)^n$

W :  $\sum w(\rho_k)$

L : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

[標準モデル上の輪郭と計測データ上の輪郭との距離]

ここでは、3 次元データ D T 上に指定された輪郭 R K、または 2 次元画像 F T 上に指定された輪郭 R K と、標準モデル D S 上の輪郭 R K との距離が評価される。

【0 0 6 6】

計測データの輪郭 R K が 3 次元データ D T 上に指定される場合は、3 次元データ D T の輪郭 R K 上の点から標準モデル D S 上の対応する輪郭 R K へ垂線を降ろし、その垂線のうち最短のものを距離とする。なお、輪郭 R K 上では複数の点を指定する。

【0 0 6 7】

計測データの輪郭 R K が 2 次元画像 F T 上に指定される場合は、2 次元画像 F T を撮影したカメラについてのカメラパラメータを用い、標準モデル D S の輪郭 R K を 2 次元画像 F T 上に投影する。2 次元画像 F T の輪郭 R K 上の点から、標準モデル D S の対応する輪郭 R K へ垂線を降ろし、その垂線のうち最短のものを距離とする。なお、輪郭 R K 上では複数の点を指定する。

【0 0 6 8】

計測データの輪郭 R K が 3 次元データ D T 上に指定される場合に、標準モデル D S の輪郭 R K 毎の差分エネルギー e<sub>2</sub> は、それらの距離の二乗和を用いて次の

(8) 式によって計算される。

【0069】

【数8】

$$e_2(T_2^A) = \frac{1}{nl^2} \sum_{k=1}^n [d^{kr} (q^k - p^k)]^2 \quad \dots (8)$$

【0070】

但し、

T2A：制御点群

p k：3次元データ上の輪郭点

q k：3次元データ上の輪郭点から対応するモデル輪郭への垂足点

n：1つのモデル輪郭に対応が付けられている3次元データの輪郭点数

d<sup>k</sup>：計測データの輪郭点から対応するモデル輪郭線への投影方向、

$$d^k = (q^k - p^k) / |q^k - p^k|$$

l：種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

計測データの輪郭R Kが2次元画像F T上に指定される場合に、標準モデルD Sの輪郭R K毎の差分エネルギーe2'は次の(9)式によって計算される。

【0071】

【数9】

$$e_2(T_2^A) = \frac{1}{nl^2} \sum_{k=1}^n [d^{kr} (q^k - p^k)]^2 \quad \dots (9)$$

【0072】

但し、

T2A：制御点群

p k：2次元画像上の輪郭点

q k：2次元画像上の輪郭点から2次元画像上に投影された対応するモデル輪郭への垂足点

$n$  : 1つのモデル輪郭に対応が付けられている計測データの輪郭点数

$d^k$  : 2次元画像上の輪郭点から対応するモデル輪郭への投影方向,

$$d^k = (q_k - p_k) / |q_k - p_k|$$

1 : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

計測データの輪郭  $RK$  を 2 次元画像  $FT$  上で指定する理由は、例えば 3 次元データ  $DT$  があいまいな場合に、3 次元データ  $DT$  上に輪郭  $RK$  を指定すると輪郭  $RK$  そのものが不正確になってしまうからである。したがって、それに代えて 2 次元画像  $FT$  を用いて輪郭  $RK$  を抽出するのである。

〔標準モデル上の特徴点と対応した計測データ上の特徴点との距離〕

上に述べた輪郭  $RK$  に代えて、計測データ上に特徴点  $TT$  を設定することにより、3 次元データ  $DT$  上に指定された特徴点  $TT$ 、または 3 次元データ  $DT$  に対応して 2 次元画像  $FT$  上に指定された特徴点  $TT$  と、標準モデル  $DS$  上の特徴点との距離が評価される。

【0073】

3 次元データ  $DT$  上の特徴点  $TT$  と標準モデル  $DS$  上の特徴点  $TT$  との差分エネルギー  $e_3$  は、対応する特徴点  $TT$  の二乗距離を用いて次の (10) 式によって計算される。

【0074】

なお、2 次元画像  $FT$  上に特徴点  $TT$  を指定した場合は、カメラパラメータを用いて標準モデル  $DS$  の特徴点  $TT$  を 2 次元画像  $FT$  上に投影し、2 次元画像  $FT$  上での差分エネルギーを計算する。

【0075】

【数10】

$$e_3(T_3^*) = \frac{1}{NL^2} \sum_{i=1}^N |F^i - G^i|^2 \quad \dots (10)$$

【0076】

但し、

T 3 A : 制御点群

F k : 計測データの特徴点

G k : 計測データの特徴点に対応する標準モデル上の特徴点

N : 計測データの特徴点と標準モデル上の特徴点との対応数

L : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

〔過剰な変形を回避するための安定化エネルギー〕

上に述べた差分のエネルギーに加え、過剰な変形を回避するための安定化エネルギー  $e_s$  が導入される。

【 0 0 7 7 】

すなわち、変形に用いられる制御点の間が、図 9 に示す仮想バネ (elastic bar)  $K_B$  によってつながれているものとする。仮想バネ  $K_B$  の制約に基づいて、標準モデル  $D_S$  の面  $S$  の形状の安定化のための安定化エネルギー  $e_s$  が定義される。

【 0 0 7 8 】

なお、仮想バネは必ずしも制御点間に張られている必要はない。制御点と仮想バネとの関係が明確であればよい。

図 9 において、フィッティング対象である標準モデル  $D_S$  の面  $S$  の一部が示されている。面  $S$  は、制御点群  $U = \{ u_i, i = 1 \cdots N \}$  で形成されている。隣接する制御点間には、仮想バネ  $K_B$  が配置されている。仮想バネ  $K_B$  は、制御点間に引っ張り力による拘束を与え、面  $S$  の異常変形を防ぐ働きをする。

【 0 0 7 9 】

つまり、隣接する制御点  $u$  の間隔が大きくなった場合に、それに応じて仮想バネ  $K_B$  による引っ張り力が大きくなる。例えば、点  $Q_k$  が点  $P_k$  に近づく場合に、その移動にともなって制御点  $u$  の間隔が大きくなると、仮想バネ  $K_B$  による引っ張り力が増大する。点  $Q_k$  が移動しても制御点  $u$  の間隔が変わらなければ、つまり制御点  $u$  間の相対位置関係に変化がなければ、仮想バネ  $K_B$  による引っ張り力は変化しない。仮想バネ  $K_B$  による引っ張り力を面  $S$  の全体について平均化したものを、安定化エネルギー  $e_s$  として定義する。したがって、面  $S$  の一部が突

出して変形した場合に安定化エネルギー  $e_s$  は増大する。面  $S$  の全体が平均して移動すれば安定化エネルギー  $e_s$  は零である。

【0080】

安定化エネルギー  $e_s$  は、仮想バネ  $KB$  の変形の状態により、次の (11) 式により求められる。

【0081】

【数11】

$$e_s(T_s^A) = \frac{c}{ML^2} \sum_{m=1}^M \left[ \frac{1}{L_0^m} (\bar{U}^m - \bar{V}^m)^2 (U^m - V^m) - L_0^m \right]^2 \cdots (11)$$

【0082】

但し、

$T_{sA}$  : 制御点群

$U \sim m, V \sim m$  : 仮想バネの端点 (制御点) の初期値

$U_m, V_m$  : 変形後の仮想バネの端点

$L_0m$  : 初期状態の仮想バネの長さ、

$$L_0m = |U \sim m - V \sim m|$$

$M$  : 仮想バネの本数

$c$  : バネ係数

$L$  : 種々のエネルギーを同一単位で扱うための調整用スケール

したがって、バネ係数  $c$  を大きくすると、仮想バネ  $KB$  は硬くなって変形し難くなる。

【0083】

このような安定化エネルギー関数  $e_s$  を導入することにより、面  $S$  の形状変化に一定の拘束を設けることとなり、面  $S$  の過度の変形を防ぐことができる。

〔総合のエネルギー関数〕

上に述べたように、各エネルギー関数  $e_1, e_2, e_3, e_4$  について、それぞれ制御点群  $T_{1A}, T_{2A}, T_{3A}, T_{sA}$  が用いられる。ここでは、これらの制御点群  $T_{1A}$



～T<sub>SA</sub>は同じであるが、後述するように互いに異ならせることができる。これら制御点群T<sub>A</sub>を用いて標準モデルD<sub>S</sub>の変形を行い、次の(12)式に示す総合エネルギー関数 $e(T_A)$ を最小にする制御点群T<sub>A</sub>を求める。

【0084】

【数12】

$$e(T^A) = w_1 e_1(T^A) + \sum_s w_2 e_2^s(T^A) + w_3 e_3(T^A) + c e_s(T^A) \cdots (12)$$

【0085】

但し、

$e_1(T_{1A})$  : 3次元データの構成点とモデル表面との差分エネルギー

$e_2^s(T_{2A})$  : モデル輪郭毎の計測データ上の輪郭との差分エネルギー

$e_3(T_{3A})$  : 計測データの特徴点とモデル上の特徴点との差分エネルギー

$e_s(T_{SA})$  : 過剰な変形を回避するための安定化エネルギー

$w_i, c$  : それぞれのエネルギーのウエイトパラメータ

$T_A = T_{1A} = T_{2A} = T_{3A} = T_{SA}$

〔繰り返し変形〕

実際には繰り返し変形を行う(#17)。つまり、制御点を動かして繰り返し変形を行う。n回目の変形後の総合エネルギー関数を $e_n(T_A)$ とすると、次の(13)式の条件が満たされたときに、総合エネルギー関数 $e_n(T_A)$ が収束したと判断する。

【0086】

【数13】

$$|e^n(T^A) - e^{n-1}(T^A)| < \varepsilon \cdots (13)$$

【0087】

さて、ここで、変形処理の全体的な流れを図3に沿って説明する。まず、計測データと標準モデルD<sub>S</sub>との間で対応する点の組みを作成する(図8のP<sub>k</sub>とQ<sub>k</sub>)(#21)。

## 【 0 0 8 8 】

面  $S$  を変形し ( # 2 2 ) 、変形後の総合エネルギー関数  $e_n(TA)$  を計算する ( # 2 3 ) 。総合エネルギー関数  $e_n(TA)$  が収束するまで ( # 2 4 でイエス ) 、処理を繰り返す。

## 【 0 0 8 9 】

総合エネルギー関数  $e_n(TA)$  の収束を判定する方法として、上に述べたように総合エネルギー関数  $e_n(TA)$  が所定の値よりも小さくなったときに収束とする方法、前回の計算と比較べた変化の割合が所定値以下となったときに収束とする方法など、公知の方法を用いることが可能である。

## 〔異なる制御点の使用〕

上に述べた ( 1 2 ) 式では、フィッティング対象 ( 3 次元データ  $DT$  の構成点、輪郭  $RK$ 、特徴点  $TT$  ) がそれぞれ異なるエネルギー関数  $e_1 \sim e_4$  について、同じ制御点群を使用した。ここに示す例は、フィッティング対象毎、すなわちエネルギー関数毎に異なる制御点群を用いる。つまり、制御点群  $T1A$ 、 $T2A$ 、 $T3A$ 、 $TsA$  を互いに異ならせる。

## 【 0 0 9 0 】

この場合には、総合エネルギー関数  $e(TA)$  として上に示した ( 1 2 ) 式を用いることができる。但し、そこに用いられる制御点群  $T1A$ 、 $T2A$ 、 $T3A$ 、 $TsA$  は、互いに異なっており、次に示す関係にある。

## 【 0 0 9 1 】

$$TA \supset T1A$$

$$TA \supset T2A$$

$$TA \supset T3A$$

$$TA = TsA$$

すなわち、上に述べたように、特徴点は点であるので、特徴点同士のエネルギーに対しては、局所的な動きになってしまう。例えば、3次元データ  $DT$  と標準モデル  $DS$  との目の位置を合わせようとするときに、特徴点  $TT$  が設定された部分のみが強く引っ張られ、いびつに変形する可能性がある。そのような場合に、全体的な動きとなるようにするのが好ましい。

## 【0092】

一方、3次元データDTの構成点に対しては、目の横などは細かく動いてほしい。しかし、少数の制御点しか用いない場合には、構成点は細かく移動しない。

そこで、3次元データDTの構成点については多数の制御点を用い、特徴点については少数の制御点を用いる。輪郭RKについてはその中間の量とする。

## 【0093】

例えば、輪郭RKが急激に変化する部分については、制御点を細かくする。安定化エネルギーは全ての制御点に対してかける。このような制御点の選択は、標準モデルDSを準備する際に行う。

## 【0094】

なお、制御点群T1A, T2A, T3A, TsAは互いに異なるのであるが、各制御点群に含まれる制御点は、互いに共通に用いられるものもある。

## 〔信頼性に応じたウェイトの変更〕

上に述べた(12)式では、各情報についての信頼性が同等であるとして総合エネルギー関数 $e(TA)$ を評価したが、ここに示す例は、それぞれの情報の信頼性に応じて重みを変更する。これによって、様々な情報の中からより信頼性の高い情報に重きを置いて判定することができる。

## 【0095】

なお、それぞれの情報の信頼性は、3次元計測時、または輪郭・特徴点の自動抽出時に得られるものとする。

この場合には、次の(14)式に示す総合エネルギー関数 $e(TA)$ を最小にする制御点群TAを求める。

## 【0096】

## 【数14】

$$e(T^A) = w_1 W_1(\rho_1) e_1(T^A) + \sum_s w_2 W_2(\rho_2^s) e_2^s(T^A) + w_3 W_3(\rho_3) e_3(T^A) + c e_s(T^A)$$

... (14)

## 【0097】

但し、

$\rho_i$  : 各エネルギー関数  $e_i$  ( $T_A$ ) に関する情報の信頼性

$W(\rho_i)$  : 信頼性関数

$T_A = T_{1A} = T_{2A} = T_{3A} = T_{SA}$

上に述べた処理によって、標準モデル  $DS$  のうちの皮膚用モデル  $DSA$  が変形され、3次元モデル  $ML$  のうちの皮膚モデル  $MLA$  が生成される。次に、骨格用モデル  $DSB$  を変形して骨格モデル  $MLB$  を生成する方法を説明する。

【0098】

図11は皮膚用モデル  $DSA$  および骨格用モデル  $DSB$  の構成点と制御点との対応を示す図、図12は制御点  $u$  の補正方法の1つの例を示す図、図13は制御点  $u$  の補正方法の他の1つの例を示す図、図14は皮膚用モデル  $DSA$  および骨格用モデル  $DSB$  の変形による3次元モデル  $ML$  の生成の様子を示す図、図14は2つのモデルの変形による3次元モデル  $ML$  の生成の手順を示すフローチャートである。

#### 骨格モデル $MLB$ の生成

上に述べたように、同じ1つの標準モデル  $DS$  についての皮膚用モデル  $DSA$ 、骨格用モデル  $DSB$ 、および筋肉用モデル  $DS C$  には、共通の制御点が設定されているが、皮膚モデル  $MLA$  の生成のために皮膚用モデル  $DSA$  を変形したことによって、標準モデル  $DS$  に設定された制御点に変更されることとなる。生成された皮膚モデル  $MLA$  の制御点つまり変形後の制御点が、本発明の変形情報に相当する。

#### 〔変形情報の適用による骨格モデルの生成〕

そこで、次に、骨格モデル  $MLB$  を生成するために、変形情報を取り出し、これを用いて骨格用モデル  $DSB$  を変形する。

【0099】

つまり、予め標準モデル  $DS$  に設定した制御点群  $T_{hA}$  と、変形後の制御点群  $T_A$  とを用いて、骨格用モデル  $DSB$  を変形する。なお、符号「 $T_{hA}$ 」の中の「 $h$ 」は、「 $T$ 」の上部に付した「ハット」を意味し、「変形前」であることを示す

。以下「VhQ」「VhR」などについても同様である。

【0100】

変形前の皮膚用モデルD S Aを構成する点群（構成点群）VhQは、制御点群ThAの線形結合として次の（15）式のように示される。

【0101】

【数15】

$$\hat{V}^Q(\hat{T}^A) = \alpha_A^Q \hat{T}^A \quad \dots (15)$$

【0102】

但し、VhQ：皮膚用モデルD S Aを構成する点群、

$\alpha_A^Q$ ：点群VhQおよびThAの各点に依存する係数、

$$\alpha_A^Q = f_A(VhQ)$$

ThA：変形前の制御点群

また、変形後の皮膚用モデルD S A（皮膚モデルMLA）の構成点群VQは、次の（16）式のように示される。

【0103】

【数16】

$$V^Q(T^A) = \alpha_A^Q T^A \quad \dots (16)$$

【0104】

次に、骨格用モデルD S Bに対して変形情報を適用するのであるが、変形前の骨格用モデルD S Bの構成点群VhRは、次の（17）式のように示される。

【0105】

【数17】

$$\hat{V}^R(\hat{T}^A) = \alpha_A^R \hat{T}^A \quad \dots (17)$$

【0106】

但し、VhR：骨格用モデルD S Bを構成する点群、

$\alpha_A^R$ ：点群VhRおよびThAの各点に依存する係数、

$$\alpha AR = f A(VhR)$$

ThA : 変形前の制御点群

上の (17) 式から、係数  $\alpha AR$  を決定する。

【0107】

また、変形後の骨格用モデルDSB（骨格モデルMLB）の構成点群VRは、次の (18) 式のように示される。

【0108】

【数18】

$$V^R(T^A) = \alpha_A^R T^A \quad \dots (18)$$

【0109】

この (18) 式の右辺に、上で決定された係数  $\alpha AR$ 、および皮膚用モデルDSAの変形後の制御点群TAを代入する。これによって、皮膚用モデルDSAの変形のために行ったような複雑な演算を行うことなく、非常に単純な演算を行うだけで、変形後の骨格用モデルDSB（骨格モデルMLB）の構成点群VRが求められる。

〔変形情報の適用時の補正〕

上に述べたように、骨格モデルMLBを生成するために、変形後の皮膚用モデルDSAから変形情報（すなわち変形後の制御点群TA）を取り出し、これを用いて骨格用モデルDSBを変形する。このとき、皮膚用モデルDSAと骨格用モデルDSBとは同じではないので、変形情報をそのまま適用した場合には異常変形を引き起こす可能性がある。

【0110】

例えば、図11に示すように、皮膚用モデルDSAおよび骨格用モデルDSBからなる標準モデルDSを考える。皮膚用モデルDSAは多数の構成点Qを有し、骨格用モデルDSBは多数の構成点Rを有する。これらに共通の制御点u（A，B，C，D）が設定されている。

【0111】

ここで、皮膚用モデルDSAおよび骨格用モデルDSBのそれぞれについて、

各構成点 $Q$ 、 $R$ に最も近い3つの制御点 $u$ のみを使用するものとする。つまり、各構成点は、それぞれに最も近い3つの制御点 $u$ のみによって制御され、それ以外の制御点 $u$ によっては影響を受けない。具体的には、例えば、各構成点 $Q$ 、 $R$ に最も近い3つの制御点 $u$ 以外の係数 $\alpha_{AQ}$ 、 $\alpha_{AR}$ を零とする。

## 【0 1 1 2】

そうすると、皮膚用モデル $DSA$ の構成点 $Q①$ については、制御点 $u$  ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) が使用される。しかし、皮膚用モデル $DSA$ の構成点 $Q①$ に対応する骨格用モデル $DSB$ の構成点 $R②$ については、期待する制御点 $u$  ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) とは異なり、制御点 $u$  ( $A$ ,  $B$ ,  $D$ ) となってしまう。このまま制御点を用いると、適切な変形が行われない可能性がある。

## 【0 1 1 3】

例えば、制御点 $u$  ( $B$ ) が上に動き、制御点 $u$  ( $D$ ) が下に動いた場合に、皮膚用モデル $DSA$ の構成点 $Q①$ は上に動くが、骨格用モデル $DSB$ の構成点 $R②$ は下に動く。しかし、構成点 $Q①$ と $R②$ は皮膚と骨格との対応する点であるので、本来は同じ方向に動いて欲しい。このように、本来的に期待される動きとは異なってしまう、モデルの形が崩れてしまうことがある。

## 【0 1 1 4】

そこで、変形対象である構成点毎に、制御点 $u$ の補正を行う。補正の方法として、次に2つの方法を説明する。

その1つの方法は、係数 $\alpha$ を求めるときに、図12に示すように、骨格用モデル $DSB$ の構成点 $R$ の代わりに、皮膚用モデル $DSA$ 上においてそれに最も近い構成点 $Q$ を用いる。

## 【0 1 1 5】

つまり、図12において、骨格用モデル $DSB$ の構成点 $R②$ の代わりに、皮膚用モデル $DSA$ 上においてそれに最も近い構成点 $Q①$ を用いる。構成点 $R②$ を構成点 $Q①$ と対応づけておくことにより、構成点 $R②$ の制御点 $u$ として、構成点 $Q①$ の制御点 $u$ を用いる。構成点 $R②$ と構成点 $Q①$ との距離は無視する。

## 【0 1 1 6】

そうすると、皮膚用モデル $DSA$ と骨格用モデル $DSB$ とについて同じ制御点

u が用いられることとなり、上のような異常変形を生じるおそれはない。

他の 1 つの方法は、係数  $\alpha$  を求めるときに、図 1 3 に示すように、骨格用モデル D S B の構成点 R の代わりに、構成点 R から皮膚モデル M L A 上に投影した点 R Q を用いる。

【 0 1 1 7 】

つまり、骨格用モデル D S B に対して変形情報を適用するのであるが、変形前の骨格用モデル D S B の構成点群 V h R を、上に示した ( 1 7 ) 式に代えて次の ( 1 9 ) 式で表す。

【 0 1 1 8 】

【数 1 9 】

$$\hat{V}^R(\hat{T}^A) = \alpha_A^{RQ} \hat{T}^A \quad \dots (19)$$

【 0 1 1 9 】

但し、V h R : 骨格用モデル D S B を構成する点群、

$\alpha_{ARQ}$  : 点群 V h R、T h A の各点および点群 V h Q に依存する係数、

$$\alpha_{ARQ} = f_A(V h R Q)$$

T h A : 変形前の制御点群

上の ( 1 9 ) 式から、係数  $\alpha_{ARQ}$  を決定し、次の ( 2 0 ) 式により変形後の骨格用モデル D S B ( 骨格モデル M L B ) の構成点群 V R を決定する。

【 0 1 2 0 】

【数 2 0 】

$$V^R(T^A) = \alpha_A^{RQ} T^A \quad \dots (20)$$

【 0 1 2 1 】

図 1 3 に示す例では、骨格用モデル D S B の構成点 R ② を皮膚モデル M L A 上に投影する。つまり、骨格用モデル D S B の構成点 R ② から皮膚モデル M L A 上に垂線を降ろし、そのうちの最短のものとの交点を求め、それを仮想的な構成点 R Q ②' とする。この仮想的な構成点 R Q ②' に対する制御点 u を、構成点 R ② の制御点 u として用いる。



## 【0 1 2 2】

このような補正によっても、予想外の変形が行われることが防止される。

次に、3次元モデルMLを生成する全体的な手順について説明する。

図14および図15において、まず、2つ以上のモデルを含んだ標準モデルDSを準備する(#1)。このとき、各モデルについて、共通の制御点uを設定する。

## 【0 1 2 3】

皮膚用モデルDSAを3次元データDTにフィッティングして変形し、皮膚モデルMLAとする(#2)。皮膚モデルMLAから制御点uを抽出する(#3)。抽出した制御点uを適用して、骨格用モデルDSBを変形する(#4)。なお、骨格用モデルDSBを変形するために用いられる制御点uは補正されたものである。得られた骨格モデルMLBと皮膚モデルMLAとを合わせて3次元モデルMLとなる。

## 【0 1 2 4】

なお、上の例では、皮膚モデルMLAの変形情報を適用して骨格モデルMLBを生成したが、同様な方法によって筋肉モデルMLCを生成することもできる。さらに、これらに限られることなく、上に述べた手法を、関連を有する2つのモデルの変形に適用することができる。

## 【0 1 2 5】

すなわち、例えば、標準モデルDSとして第1のモデルおよび第2のモデルを含む場合に、第1のモデルを3次元データDTにフィッティングして変形させ(第1のステップ)、これによって得られた変形情報を適用して第2のモデルを変形させる(第2のステップ)。

## 【0 1 2 6】

また、モデルに限ることなく、例えば筋肉情報のように3次元的な情報であれば、上と同様に変形を行うことができる。なお、筋肉は、線を3次元的に配置したものであり、筋肉情報は3次元的な線の情報である。

## 【0 1 2 7】

上に述べた実施形態によると、対象物を計測して得られた3次元データDTを

用いてフィッティングを行うことにより、皮膚用モデルD S Aおよび骨格用モデルD S Bなどを変形して皮膚モデルM L Aおよび骨格モデルM L Bなどの3次元モデルM Lを生成することができる。その際に、変形情報の補正を行うことにより、異常変形が生じるのを防止することができる。

【0128】

上に述べた実施形態において、モデリング装置1の構成、回路、処理内容、処理順序、処理タイミング、係数の設定などは、本発明の趣旨に沿って適宜変更することができる。

【0129】

【発明の効果】

本発明によると、対象物を計測して得られた計測データを用いてフィッティングを行うことにより、皮膚用モデルおよび骨格用モデルなどを変形して皮膚モデルおよび骨格モデルなどの形状モデルを生成することができる。

【0130】

請求項3の発明によると、異常変形が生じるのを防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に係るモデリング装置を示すブロック図である。

【図2】

モデリング装置の全体の処理の流れを示すフローチャートである。

【図3】

変形処理を示すフローチャートである。

【図4】

標準モデルの例を示す図である。

【図5】

対象物から3次元データを取得する様子を示す図である。

【図6】

概略の位置合わせの様子を示す図である。

【図7】

輪郭および特徴点の抽出処理の様子を示す図である。

【図 8】

標準モデルの面と 3 次元データの点とを模式的に示す図である。

【図 9】

標準モデルの異常変形を防ぐための仮想バネを説明するための図である。

【図 1 0】

対象物の 3 次元データおよび信頼性データを取得する方法の例を説明する図である。

【図 1 1】

皮膚用モデルおよび骨格用モデルの構成点と制御点との対応を示す図である。

【図 1 2】

制御点の補正方法の 1 つの例を示す図である。

【図 1 3】

制御点の補正方法の他の 1 つの例を示す図である。

【図 1 4】

皮膚用モデルおよび骨格用モデルの変形による 3 次元モデルの生成の様子を示す図である。

【図 1 5】

2 つのモデルの変形による 3 次元モデルの生成の手順を示すフローチャートである。

【符号の説明】

1 モデリング装置（形状モデルの生成装置）

1 0 処理装置

D T 3 次元データ（計測データ）

F T 2 次元画像（計測データ）

D S 標準モデル

D S A 皮膚用モデル（第 1 のモデル）

D S B 骨格用モデル（第 2 のモデル）

M L A 皮膚モデル

MLB 骨格モデル

TA 制御点群

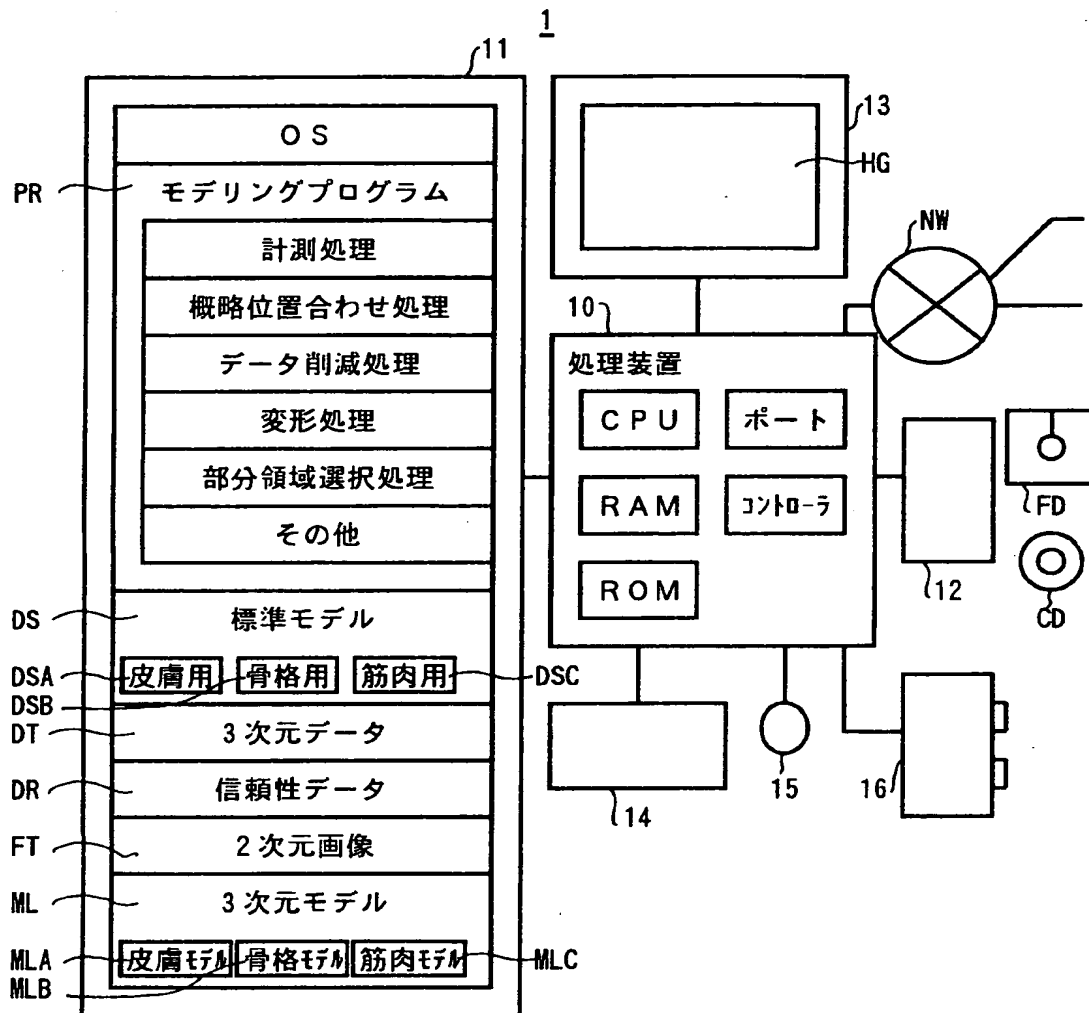
Pk 構成点

Q, R 構成点 (変形対象)

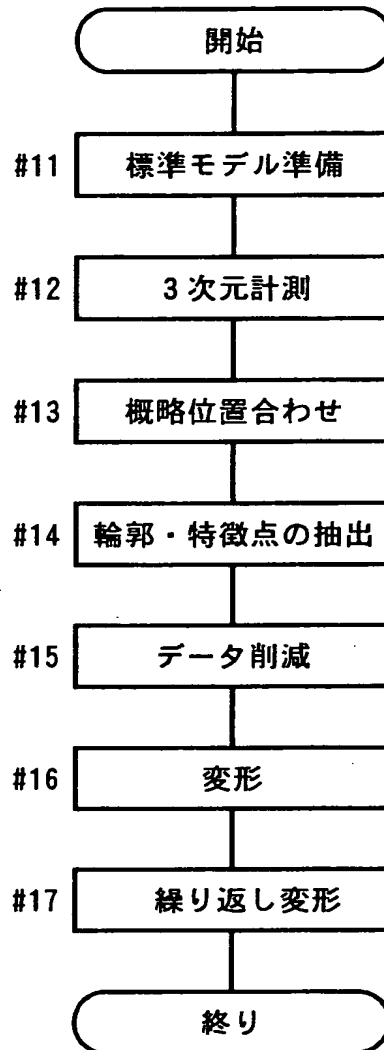
PR モデリングプログラム

【書類名】 図面

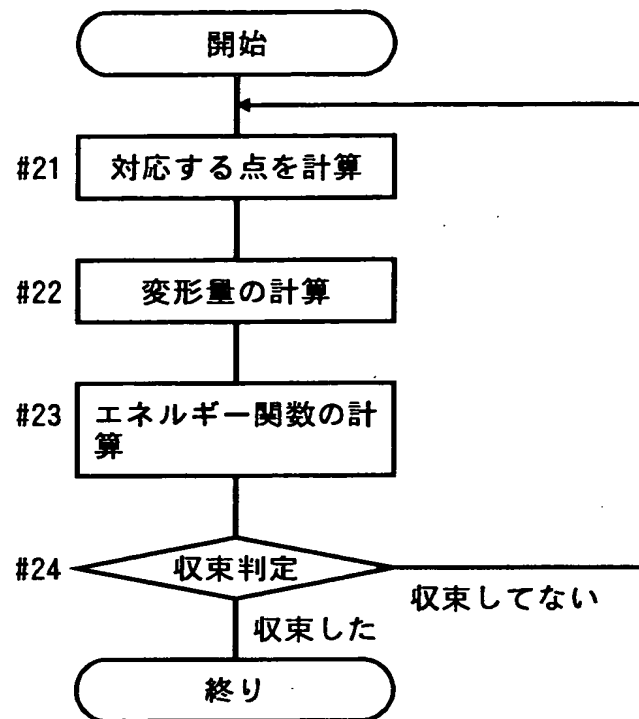
【図 1】



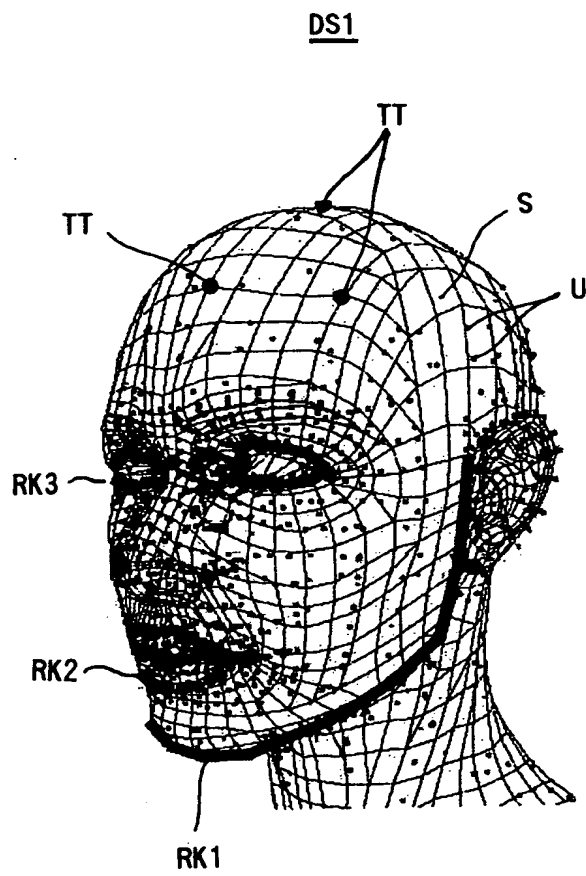
【図 2】



【図 3】

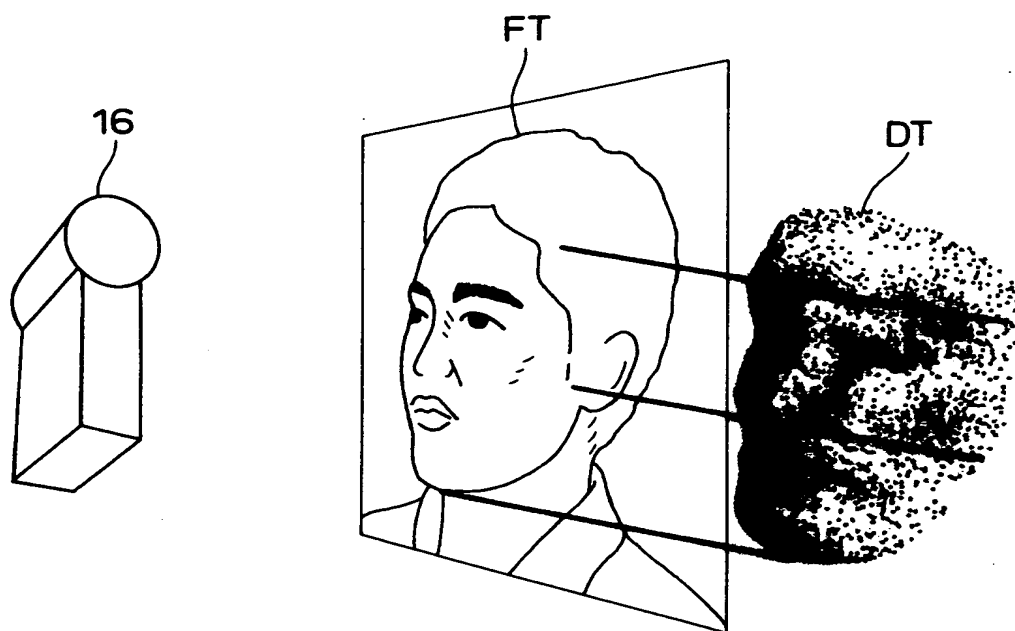


【図4】

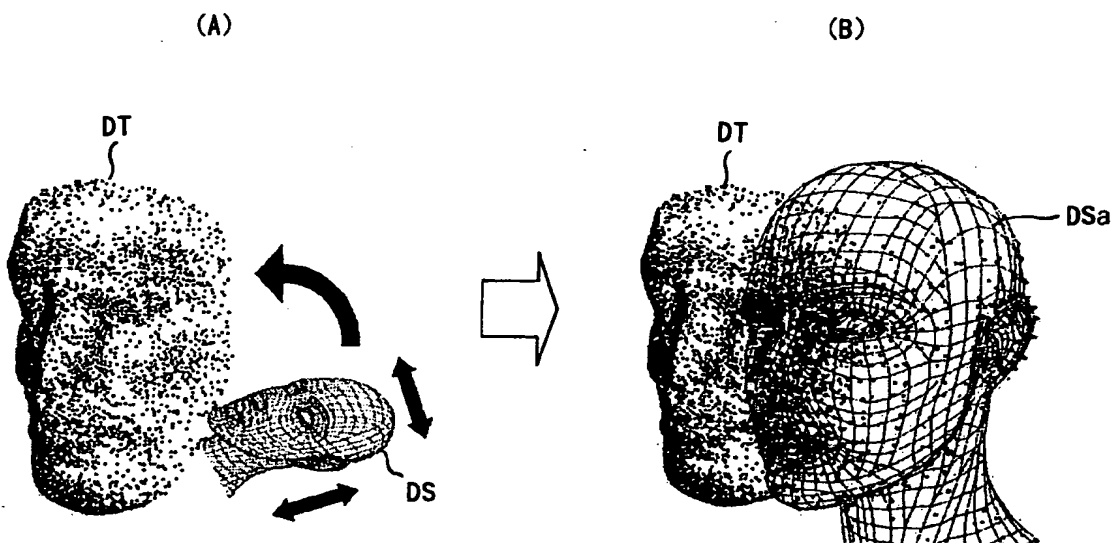




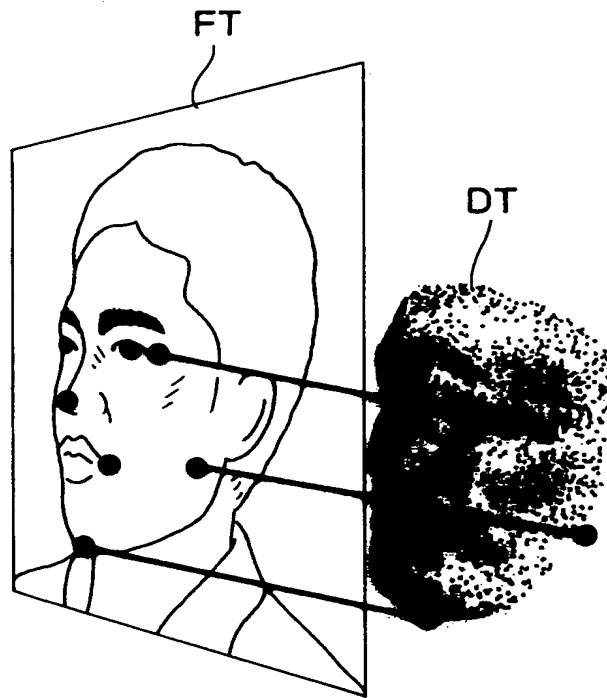
【図 5】



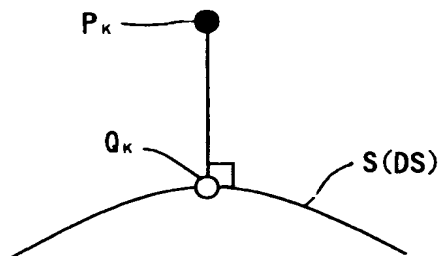
【図 6】



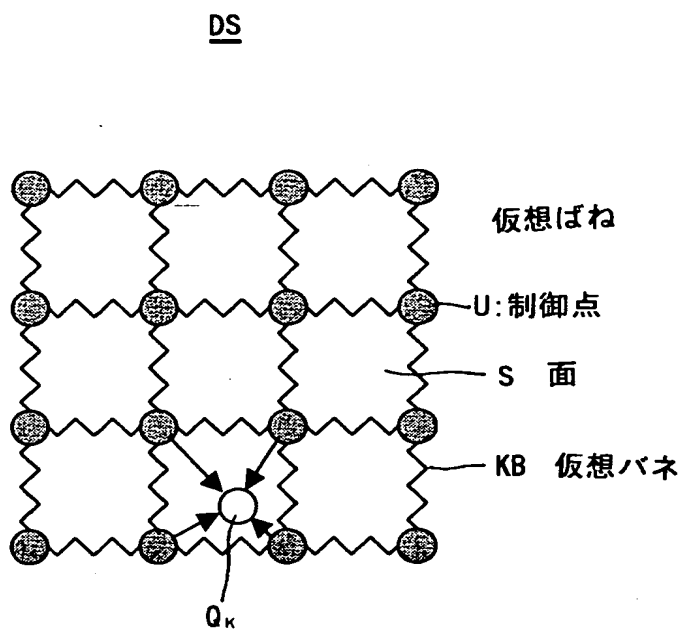
【図 7】



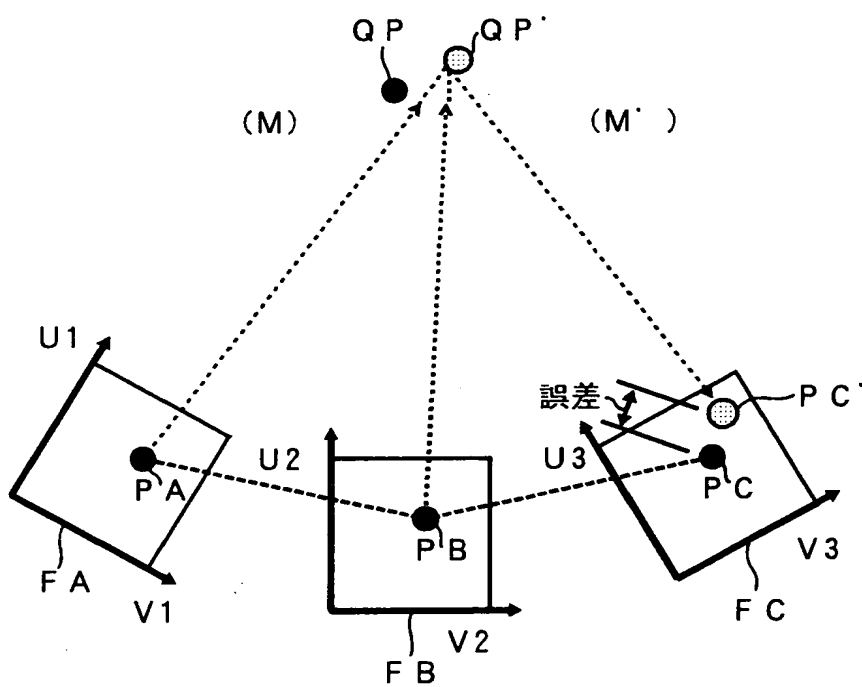
【図 8】



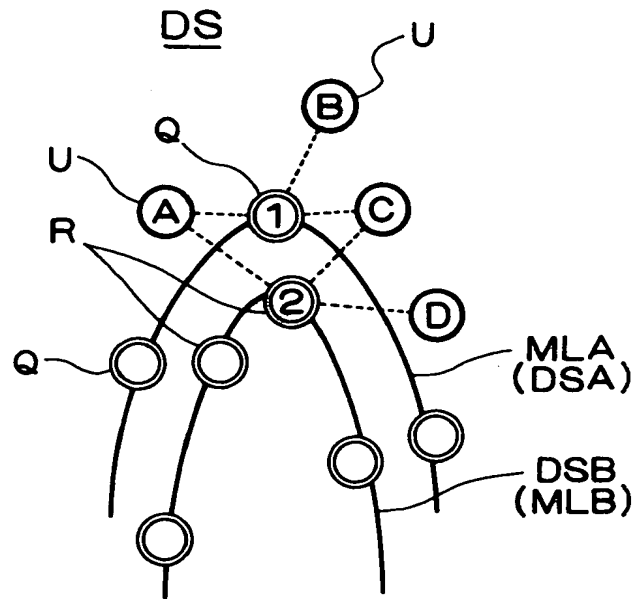
【図 9】



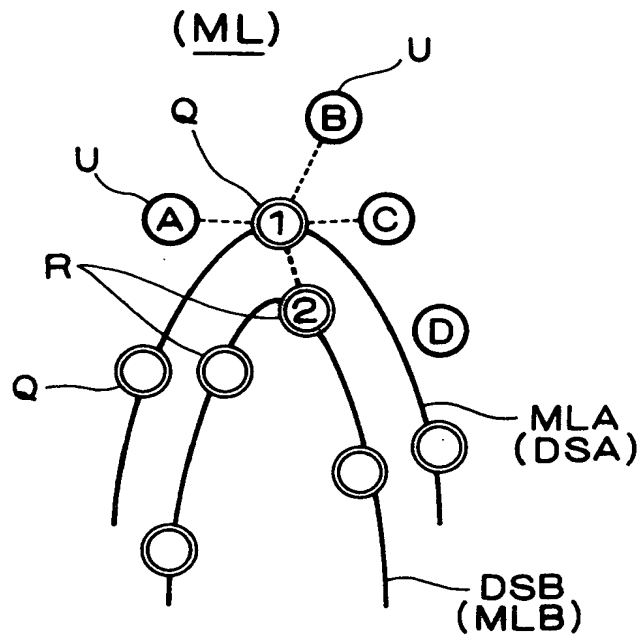
【図 10】



【図11】

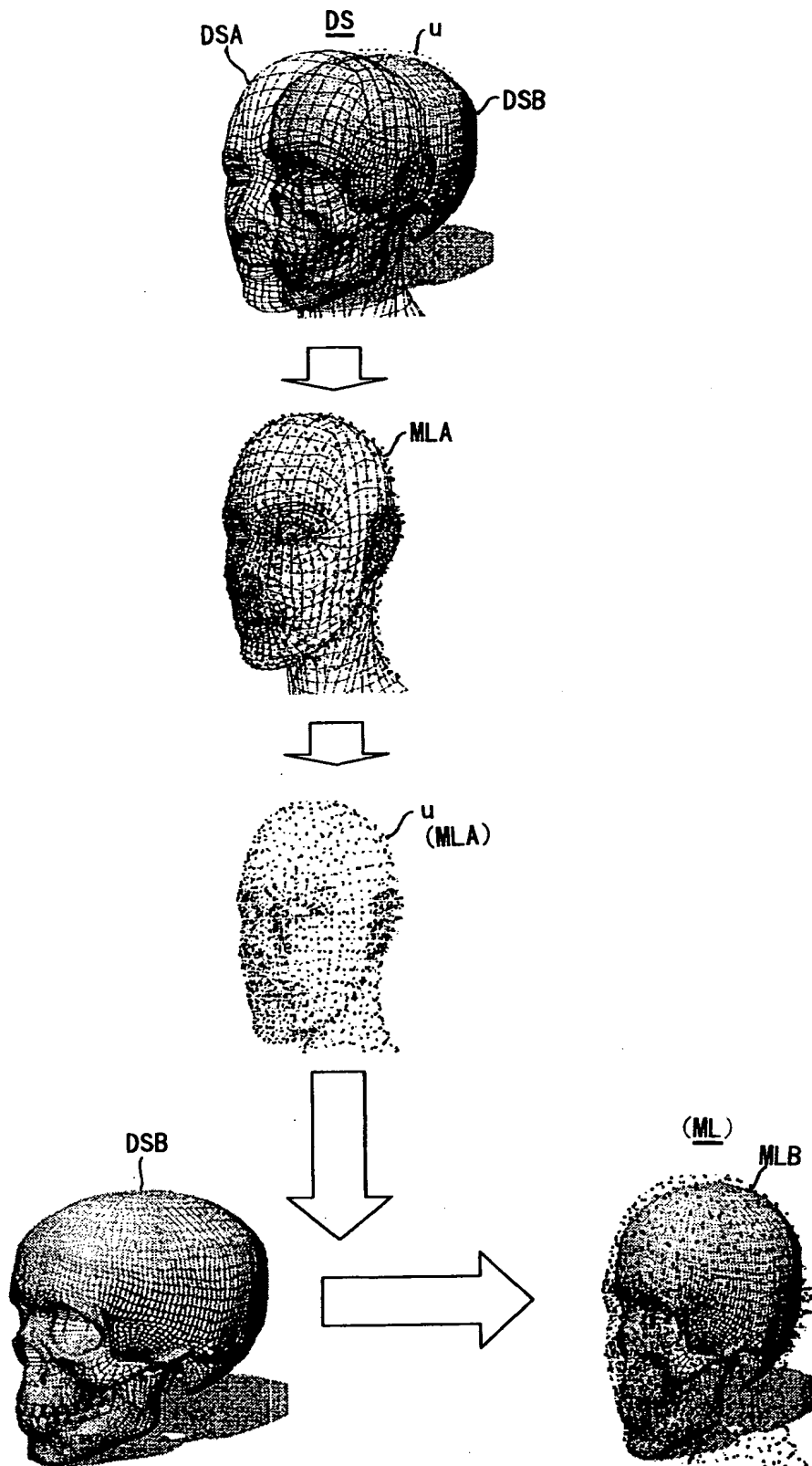


【図12】

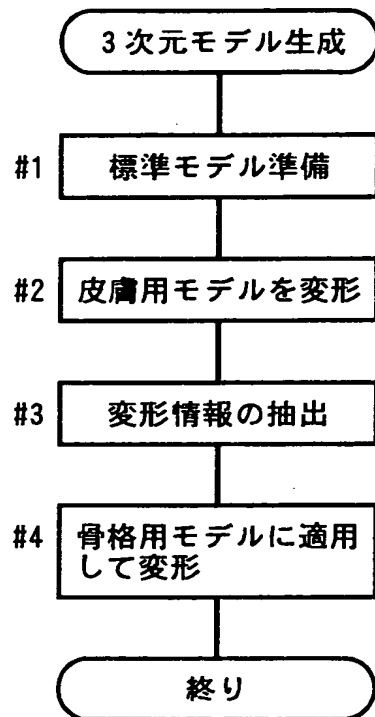




【図 14】



【図 1 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】対象物を計測して得られた計測データを用いてフィッティングを行うことにより、皮膚用モデルおよび骨格用モデルなどを変形して皮膚モデルおよび骨格モデルなどの形状モデルを生成すること。

【解決手段】第1の標準モデルおよび第2の標準モデルを計測データに基づいて変形させることにより、2つの標準モデルからなる形状モデルを生成する方法であって、第1の標準モデルを計測データに基づいて変形させる第1のステップ（#1，2）と、第1のステップで得られた変形情報を適用して第2の標準モデルを変形させる第2のステップ（#3，4）とを有してなる。

【選択図】 図15



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006079]

1. 変更年月日 1994年 7月20日  
[変更理由] 名称変更  
住 所 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル  
氏 名 ミノルタ株式会社